



# EL MISIONERO DEL AGRO

**POLISACÁRIDOS NO ALMIDONADOS, ENERGÍA METABOLIZABLE Y  
PROTEÍNA CRUDA EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS**

**NON STARCH POLYSACCHARIDES, METABOLIZABLE ENERGY AND  
CRUDE PROTEIN IN THE FEED OF PIGS**

**Autores:**

**JIMMY QUISIRUMBAY GAIBOR<sup>1</sup>, DIEGO RODRÍGUEZ SALDAÑA<sup>2</sup>,  
RENÁN MENA PÉREZ<sup>3</sup>**

**Filiación:**

<sup>1</sup> M. Sc. | Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia - Universidad Central del Ecuador | Quito - Ecuador | **E-mail:** jrquisirumbay@uce.edu.ec | Autor de correspondencia

<sup>2</sup> M. Sc. | Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad de Cuenca | Cuenca - Ecuador | **E-mail:** diego.rodriguez@ucuenca.edu.ec

<sup>3</sup> M. Sc. | Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia - Universidad Central del Ecuador | Quito - Ecuador | **E-mail:** rmpena@uce.edu.ec

**Fecha de Presentación: XXX**

**Fecha de aceptación: XXX**

## Resumen

**E**l aumento en la producción porcina determina la búsqueda de nuevos ingredientes alimenticios, diferentes a los tradicionales maíz y sorgo. Los polisacáridos no almidonados (PNA) son carbohidratos presentes en mayor proporción en ingredientes no tradicionales, tienen menor digestibilidad, afectando el rendimiento productivo animal. Escasa es la información del contenido de PNA para formular dietas adecuadamente, considerando la relación con energía y proteína. El objetivo de este documento fue cuantificar los PNA en dietas experimentales maíz/sorgo y en base a otros cereales y su relación con la energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC) en cerdos de crecimiento (fases 1: 25-50 kg de peso vivo y fase 2: 50-75 kg) y finalización (fases 3: 75-100 kg y fase 4: 100-120 kg). Fueron utilizados 73 artículos que contenían la inclusión porcentual de los ingredientes, adicionalmente para el cálculo se utilizó valores referenciales del contenido de PNA de cada macro-ingrediente. Se encontró menor contenido de PNA en las dietas maíz/sorgo frente a otros cereales 118,25 vs. 156,57 y 114,44 vs. 161,04 g/kg de materia seca para las fases de crecimiento 1 y 2 respectivamente. De manera similar en finalización 109,91 vs. 167,07 y 109,41 vs. 187,32 g/kg en las fases 3 y 4. La EM fue más alta en las dietas maíz/sorgo, mientras que la PC fue mayor en dietas otros cereales en todas las fases. Se concluye que las dietas maíz/sorgo tienen menor contenido de PNA y mayor EM, mientras que las dietas otros cereales tienen mayor contenido de PNA y mayor PC.

**Palabras clave:** nutrición, monogástricos, dietas, carbohidratos.

## Abstract

**T**he increase in pork production determines the search for new feed ingredients, different from traditional corn and sorghum. Non-starch polysaccharides (PNA) are carbohydrates present in a greater proportion in non-traditional ingredients, have lower digestibility, affecting the animal productive performance. Little information is available on PNA content to formulate diets adequately, considering the relationship with energy and protein. The objective of this document was to quantify PNA in experimental corn/sorghum diets and on the basis of other cereals and their relationship with metabolizable energy (EM) and crude protein (PC) in growing pigs (phases 1: 25-50 kg of body weight and phase 2: 50-75 kg) and finalization (phases 3: 75-100 kg and phase 4: 100-120 kg). Were used 73 articles that contained the percentage inclusion of the ingredients, additionally for the calculation we used reference values of the PNA content of each macro-ingredient. Lower PNA content was found in the corn/sorghum diets compared to other cereals 118,25 vs. 156,57 and 114,44 vs. 161,04 g/kg dry matter for growth phases 1 and 2 respectively. Similarly in finishing 109,91 vs. 167,07 and 109,41 vs. 187,32 g/kg in phases 3 and 4. The EM was higher in the corn/sorghum diets, while the PC was higher in other cereals diets in all phases. It is concluded that corn/sorghum diets have lower PNA content and higher EM, while other cereals diets have higher PNA content and higher PC.

**Keywords:** nutrition, monogastric, diets, carbohydrates.

## Introducción

Los polisacáridos no almidonados (PNA) pueden llegar a formar más del 90% de la pared celular de las plantas (Cadogan y Choct, 2015). Los PNA más abundantes de la pared celular incluyen a la celulosa, hemicelulosa y pectinas. Un grupo más pequeño de PNA lo conforman los fructanos, glucomananos y galactomananos los cuales sirven como polisacáridos de almacenamiento dentro de la planta. Mucilágenos,  $\beta$ -glucanos y gomas también son ejemplos de PNA. A diferencia del almidón, el cual es hidrolizado por la amilasa pancreática a glucosa, los PNA no pueden ser hidrolizados por las enzimas de los mamíferos sin embargo pueden ser completamente o parcialmente fermentados por la microbiota gastrointestinal (DeVries, 2004). Los PNA difieren de los disacáridos, almidón y glucógeno en que los monosacáridos que los componen no están conectados por enlaces glucosídico  $\alpha$ -(1-4) o por otro tipo de enlace que si pueda ser digerido por las enzimas endógenas en el intestino delgado (Englyst et al., 2007). La alimentación con dietas altas en PNA genera un aumento de las secreciones salival (Low, 1989), gástrica, biliar (Dierick et al., 1989), pancreática (Zebrowska y Low, 1987) y posiblemente intestinal (Taverner et al., 1981). Adicionalmente dietas altas en PNA afecta la tasa de proliferación celular intestinal (Jin et al., 1994; Howard et al., 1995) generando de manera indirecta aumento de los requerimientos energéticos de mantenimiento del cerdo al incrementarse las necesidades para el desarrollo y mantenimiento de las vísceras (Lewis y Southern, 2001). Los PNA influyen en la absorción, metabolismo y utilización de los nutrientes. La adición de ingredientes con grandes cantidades de PNA en las dietas para cerdos reduce la digestibilidad aparente de las dietas (Moore et al., 1986; Pond et al., 1986; Zhu et al., 1993). Adicionalmente el aumento en el contenido de PNA en dietas porcinas disminuye la densidad energética y la digestibilidad de la materia orgánica (Schulze et al., 1994) nitrógeno (Eggum et al., 1982) y aminoácidos (Den Hartog et al., 1988). Se debe considerar que existen numerosos factores que pueden afectar la eficiencia de la digestión de los PNA incluyendo la fuente (Knudsen y Hansen, 1991), método de procesamiento (Fadel et al., 1989) y concentración en la dieta (Stanogias y Pearset, 1985; Goodlad y Mathers, 1991). Lo señalado anteriormente supone que la inclusión de grandes cantidades de ingredientes no convencionales limita el desempeño productivo del cerdo debido a la menor digestibilidad de sus carbohidratos y la interacción con otros nutrientes (proteína cruda y energía). Actualmente debido a la mayor demanda de carne de cerdo, la alimentación porcina presenta un aumento creciente por el uso de ingredientes no convencionales y otros sub-productos obteniéndose dietas con elevado contenido en PNA. Pese a ello escasa es la información existente sobre el contenido de PNA en dietas para cerdos y su relación con los valores de energía y proteína que permitan al nutricionista dedicado a porcinos formular adecuadamente dietas con este tipo de ingredientes. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el contenido de PNA en dietas convencionales (elaboradas a partir de maíz o sorgo) y no convencionales (otros cereales) en cerdos en etapas de crecimiento-finalización y su relación con el contenido de energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC).

## Materiales y métodos

### Búsqueda de información y selección estudios

La fuente de información se obtuvo a través de buscadores científicos Pudmed, Google Scholar y Science Direct. Se consideró únicamente artículos científicos de los últimos 5 años (2013-2018) que incluían experimentos controlados y 2019 en caso de haberlos. Como palabras clave se usaron los términos: cerdos, crecimiento, finalización, alimentación, nutrición y dietas. Los criterios de inclusión consideró a estudios realizados en cerdos en etapas de crecimiento o finalización, donde se indicaba claramente el peso vivo inicial y final de los cerdos usados en los experimentos, niveles de inclusión de cada macro-ingrediente (energéticos, proteicos) en las dietas utilizadas y composición nutricional de la dieta (energía, proteína cruda). Solo fueron consideradas las dietas control (testigo) de cada estudio.

### Construcción de la base de datos

Con un total de 73 artículos se elaboró una base de datos en Microsoft Excel 2010 en la cual se colocaron como columnas: referencia bibliográfica (autor/es y año), peso vivo inicial y final de los cerdos, porcentaje de inclusión de cada macro-ingrediente, aporte nutricional de energía y proteína cruda y contenido de polisacáridos no almidonados de la dieta. La información se agrupo en cuatro fases alimenticias utilizando como guía las recomendaciones del National Research Council (2012) (NRC, 2012), es decir las dietas encontradas de cada artículo se agruparon en la categoría del NRC más próxima al peso vivo para la cual fue formulada (Tabla 1). La información contenida en la Tabla 1 fue utilizada como una referencia para tratar de agrupar las dietas de los diferentes estudios pues existió mucha variabilidad (pesos para los cuales fueron formulados) en los artículos, obteniéndose finalmente una agrupación similar.

Fase alimenticia	NRC (2012) peso vivo (kg)	Rango del peso vivo (kg) (artículos)	Promedio del peso vivo (kg) (artículos)	Nº de dietas encontradas (artículos)
1	25-50	27,62 – 52,74	35,84	37
2	50-75	53,44 – 90,77	66,77	39
3	75-100	79,55 – 112,59	94,65	27
4	100-120	101,63 – 124,37	114,63	9

**Tabla 1.** Fases alimenticias cerdos en crecimiento-finalización según NRC (2012) y resumen de información científica encontrada.

Varios artículos científicos aportan más de una fase alimenticia, en la Tabla 2 se muestra las referencias de cada fase.

Fase 1	Fase 2	Fase 3
Adeola y Kong (2014)	Agyekum <i>et al.</i> (2016)	Beccaccia <i>et al.</i> (2015)
Al-Rabadi <i>et al.</i> (2017)	Bai <i>et al.</i> (2017)	Cline <i>et al.</i> (2016)
Andretta <i>et al.</i> (2016)	Ball <i>et al.</i> (2015)	Dersjant-Li <i>et al.</i> (2018)
Bai <i>et al.</i> (2017)	Chen <i>et al.</i> (2014)	Holen <i>et al.</i> (2018)
Bao <i>et al.</i> (2016)	Cheng <i>et al.</i> (2017)	Joven <i>et al.</i> (2014)
Chen <i>et al.</i> (2014)	Cho <i>et al.</i> (2017)	Lents <i>et al.</i> (2016)
Chen <i>et al.</i> (2017)	Clarke <i>et al.</i> (2018a)	Li <i>et al.</i> (2017)
Cheng <i>et al.</i> (2017)	Clarke <i>et al.</i> (2018b)	Lowell <i>et al.</i> (2018)
Cho <i>et al.</i> (2017)	Dersjant-Li <i>et al.</i> (2018)	Martínez-Ramírez <i>et al.</i> (2014)
Clarke <i>et al.</i> (2018a)	Dowarah <i>et al.</i> (2017)	Meng <i>et al.</i> (2017)
Dersjant-Li <i>et al.</i> (2018)	Fan <i>et al.</i> (2017)	Monteiro <i>et al.</i> (2017)
Dowarah <i>et al.</i> (2017)	Giannenas <i>et al.</i> (2016)	Nemechek <i>et al.</i> (2015)
Gao <i>et al.</i> (2015)	Duan <i>et al.</i> (2017)	Paulk and Hancock (2016)
Duan <i>et al.</i> (2017)	Holen <i>et al.</i> (2018)	Paulk <i>et al.</i> (2015)
Holen <i>et al.</i> (2018)	Jørgensen <i>et al.</i> (2016)	Quinn <i>et al.</i> (2015)
Jlali <i>et al.</i> (2014)	Lents <i>et al.</i> (2016)	Schinckel <i>et al.</i> (2015)
Jørgensen <i>et al.</i> (2016)	Long <i>et al.</i> (2016)	Smit <i>et al.</i> (2014)
Lents <i>et al.</i> (2016)	Lowell <i>et al.</i> (2018)	Sobol <i>et al.</i> (2015)
Liu <i>et al.</i> (2018)	Alves Marçal <i>et al.</i> (2015)	Tous <i>et al.</i> (2014a)
Lowell <i>et al.</i> (2018)	Martínez-Ramírez <i>et al.</i> (2014)	Tous <i>et al.</i> (2014b)
Lyu <i>et al.</i> (2018)	Meng <i>et al.</i> (2018)	Veum and Liu (2018)
Martínez-Ramírez <i>et al.</i> (2014)	Monteiro <i>et al.</i> (2017)	Wang <i>et al.</i> (2017)
Monteiro <i>et al.</i> (2017)	Morazán <i>et al.</i> (2015)	Wu <i>et al.</i> (2016a)
Morazán <i>et al.</i> (2015)	Ndou <i>et al.</i> (2018)	Wu <i>et al.</i> (2016b)
O'Shea <i>et al.</i> (2014)	Nemechek <i>et al.</i> (2015)	Xu <i>et al.</i> (2017)
Pieper <i>et al.</i> (2016)	Ferreira de Oliveira <i>et al.</i> (2013)	Zanfi <i>et al.</i> (2014)
Rojas <i>et al.</i> (2016)	Paulk y Hancock (2016)	Zou <i>et al.</i> (2016)
Schinckel <i>et al.</i> (2015)	Paulk <i>et al.</i> (2015)	Fase 4
Smit <i>et al.</i> (2014)	Rosa <i>et al.</i> (2015)	Dersjant-Li <i>et al.</i> (2018)
Tous <i>et al.</i> (2014a)	Schinckel <i>et al.</i> (2015)	Fracaroli <i>et al.</i> (2017)
Veum y Liu (2018)	Smit <i>et al.</i> (2014)	Monteiro <i>et al.</i> (2017)
White <i>et al.</i> (2015)	Tous <i>et al.</i> (2014a)	Nemechek <i>et al.</i> (2015)
Woyengo <i>et al.</i> (2014)	Tous <i>et al.</i> (2014b)	Paulk <i>et al.</i> (2015)
Wu <i>et al.</i> (2016a)	Upadhyaya <i>et al.</i> (2016)	Schinckel <i>et al.</i> (2015)
Wu <i>et al.</i> (2016b)	Veum y Liu (2018)	Smit <i>et al.</i> (2014)
Xu <i>et al.</i> (2017)	White <i>et al.</i> (2015)	Wu <i>et al.</i> (2016a)
Zhao <i>et al.</i> (2018)	Wu <i>et al.</i> (2016a)	Wu <i>et al.</i> (2016b)
-	Wu <i>et al.</i> (2016b)	-
-	Xu <i>et al.</i> (2017)	-

**Tabla 2.** Referencias de donde se obtuvo la información para cada fase alimenticia

### Contenido de Polisacáridos no almidonados en las dietas

Para cuantificar el contenido de PNA de la dieta se consideró el porcentaje de inclusión de cada macro-ingrediente y el contenido de polisacáridos no almidonados de cada uno de los ingredientes según la información detallada por Choct (1997), Knudsen et al. (1997) y Jaworski et al. (2015).

### Transformación a Energía Metabolizable (EM)

Todos los artículos científicos reportaron la energía contenida en sus dietas tanto en energía bruta (EB), digestible (ED) ó metabolizable (EM) en kcal, Mcal o MJ por kg de alimento. Todas ellas fueron llevadas a energía metabolizable y reportadas en kcal/kg de alimento haciendo uso de las ecuaciones reportadas por Noblet y Perez (1993), considerando además que 4,184 MJ es equivalente a 1 Mcal y esto a su vez es igual a 1 000 kcal (National Research Council, 2012).

### Agrupación según macro-ingredientes

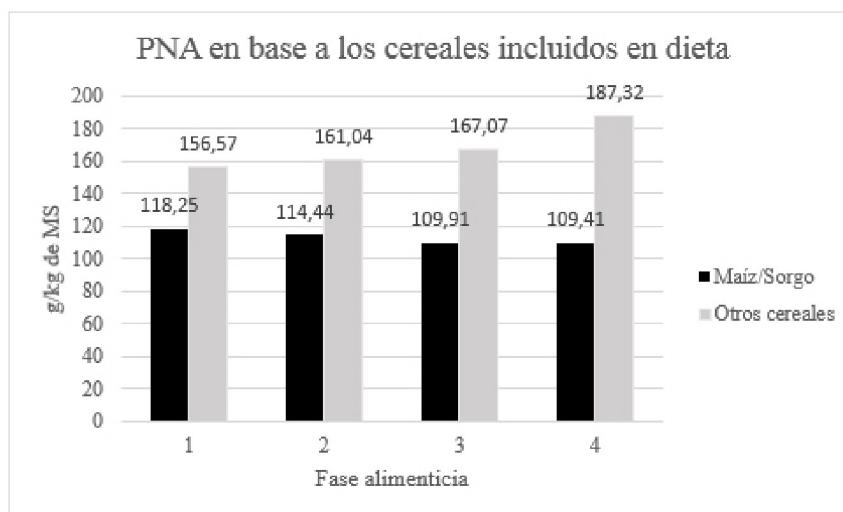
La información obtenida en cada fase alimenticia fue agrupada a su vez en dietas a base de maíz o sorgo y en dietas a base de otros cereales (cebada, granos secos de destilería con solubles (DDG's), trigo, subproductos de trigo), esto con la finalidad de poder realizar un mejor análisis de los datos.

## Resultados y discusión

### Contenido de PNA en las dietas

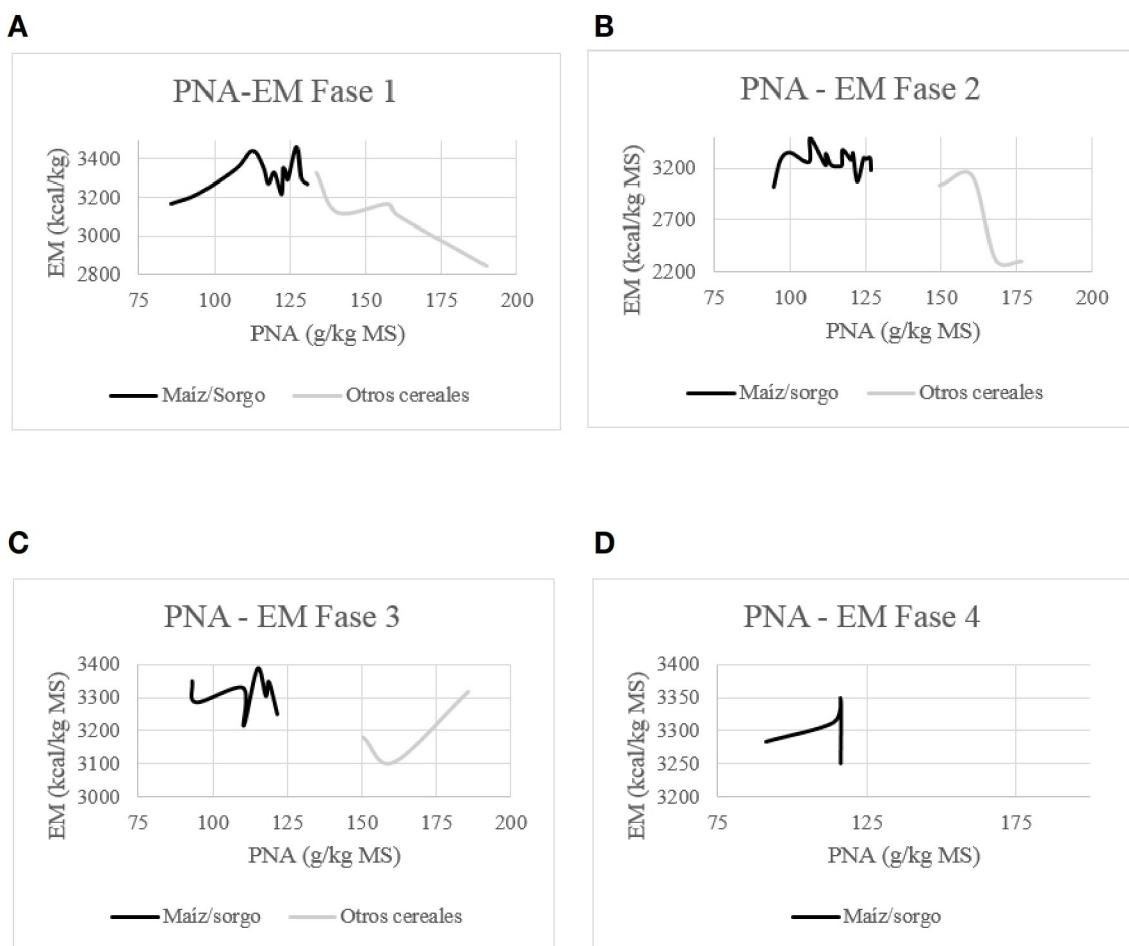
Independientemente de la fase alimenticia se aprecia claramente que las dietas formuladas en base a maíz o sorgo presenta menor cantidad de PNA en comparación de las dietas elaboradas a partir de otros cereales (Figura 1). Existe una disminución progresiva en las dietas maíz/sorgo, por el contrario, en las dietas a base de otros cereales se encontró un aumento progresivo del contenido de PNA. El menor contenido natural de PNA en los macro-ingredientes maíz (9.7 % MS) y sorgo (6.6 % MS) hace que las dietas (maíz/sorgo) presenten valores inferiores en el contenido de estos carbohidratos. Mientras mayor sea el nivel de inclusión de otros cereales (diferentes al maíz y sorgo) mayor será el contenido de PNA en la dieta en especial al incluirse cebada, DDG's y subproductos de trigo, coincidiendo con la información presentada por Höglberg y Lindberg (2004) donde se muestra que dietas formuladas a base de triticale, subproductos de trigo, avena y cebada pueden alcanzar valores de hasta 197 g/kg de MS. Dentro de una misma fase alimenticia no se consideró la influencia que podría tener el ingrediente proteico pasta de soya o canola pues su nivel de inclusión fue similar entre los grupos evaluados (maíz/sorgo u otros cereales) al igual que su contenido de PNA 21,7 y 22 % MS respectivamente (Choct, 1997; Knudsen et al. 1997; Jaworski et al. 2015).

**Figura 1.** Cantidad de PNA en dietas Maíz/Sorgo y Otros cereales



### **Relación entre el contenido de PNA y la energía metabolizable (EM) en la dieta**

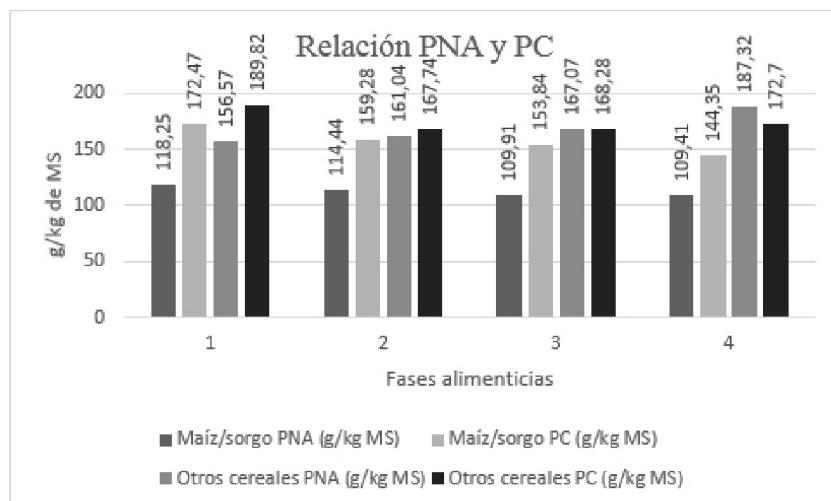
Como se mencionó al inicio de este manuscrito los PNA no pueden ser aprovechados por las enzimas digestivas de los mamíferos por lo tanto los monosacáridos que los conforman no constituyen una fuente primaria de energía para el cerdo. Lo anterior coincide con los resultados encontrados en este estudio (Figs. 2 A-D) donde se evidencia que a menor contenido de PNA en la dieta mayor fue el aporte de energía metabolizable (dietas maíz/sorgo) y menor EM a medida que el contenido de PNA aumentaba (dietas otros cereales), esta tendencia se pudo encontrar en todas las fases alimenticias estudiadas, sin embargo la correlación es débil en las dietas maíz/sorgo y más fuerte en las dietas elaboradas a partir de otros cereales. Lo anterior es importante considerar al momento de la formulación de dietas para cerdos pues no se alcanzaría los valores de energía metabolizable cuando se incluyen grandes cantidades de ingredientes diferentes al maíz y sorgo, limitando de esta manera el crecimiento y desarrollo de los animales.



**Figura 2.** Relación PNA y EM por fase alimenticia

### Relación entre el contenido de PNA y la proteína cruda (PC) en la dieta

En cuanto a la relación entre el contenido de polisacáridos no almidonados y la proteína cruda (Fig. 3) se determinó que los valores más altos en todas las fases de alimentación se encuentran en las dietas elaboradas a partir de otros cereales, sin embargo en estas mismas dietas también se encuentran valores altos de PNA con lo cual existe una tendencia a mantener un equilibrio a nivel de la microbiota intestinal y de esta manera reducir la eliminación de la urea a través de la orina, pues se incrementa la eliminación de nitrógeno (N) por medio de las heces (N orgánico), ya que hay un aumento de la población microbiana que hace uso de los ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGV's) (productos de la fermentación de los PNA) y la urea proveniente de la sangre formando la denominada proteína microbiana (Bindelle et al., 2009). Esta información coincide con los resultados reportados por Jha y Berrocoso (2016) citando a Jongbloed (2001) donde se evidencia que a medida que aumenta el contenido de PNA en la dieta disminuye la proporción o taza del N eliminado en orina/N eliminado en heces. Por su parte dietas a base de maíz/sorgo presentan un menor contenido de PNA lo que posiblemente no generé la cantidad suficiente de AGV's necesarios para satisfacer el desarrollo de la microbiota intestinal, sin embargo, se debe notar que la cantidad de proteína cruda en estas dietas también es inferior.



**Figura 3.** Relación PNA y PC por fase alimenticia

### Conclusiones

En los últimos cinco años las dietas de estudios experimentales para cerdos en etapas de crecimiento y finalización elaboradas a base de maíz o sorgo presentan un menor contenido de polisacáridos no almidonados, mayor contenido de energía metabolizable y por lo tanto mayor digestibilidad, al compararlo frente a dietas elaboradas a partir de otros cereales. En todas las fases alimenticias existe un mayor contenido de proteína cruda en dietas a base de otros cereales.

### Literatura citada

- Adeola, O., y Kong, C. (2014). Energy value of distillers dried grains with solubles and oilseed meals for pigs. *Journal of animal science*. 92(1), 164-170.
- Agyekum, A. K., Regassa, A., Kiarie, E., y Nyachoti, C. M. (2016). Nutrient digestibility, digesta volatile fatty acids, and intestinal bacterial profile in growing pigs fed a distillers dried grains with solubles containing diet supplemented with a multi-enzyme cocktail. *Animal Feed Science and Technology*. 212, 70-80.
- Al-Rabadi, G. J., Hosking, B. J., Torley, P. J., Williams, B. A., Bryden, W. L., Nielsen, S. G., y Gidley, M. J. (2017). Regrinding large particles from milled grains improves growth performance of pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 233, 53-63.
- Alves Marçal, D., Kiefer, C., Ribeiro de Souza, K. M., Caetano de Abreu, R., Arantes Rosa, R., y Silva de Rosa, L. (2015). Ractopamina em dietas sem ajustes aminoacídicos para suínos machos castrados em terminação. *Revista Ceres*. 62(3), 259-264.
- Andretta, I., Pomar, C., Kipper, M., Hauschild, L., y Rivest, J. (2016). Feeding behavior of growing-finishing pigs reared under precision feeding strategies. *Journal of animal science*. 94(7), 3042-3050.
- Bai, L. L., Wu, F., Liu, H., Zhang, L., Zhang, S., Liu, L., y Wang, F. L. (2017). Effects of dietary calcium levels on growth performance and bone characteristics in pigs in grower-finisher-transitional phase. *Animal Feed Science and Technology*. 224, 59-65.
- Ball, M. E., Magowan, E., McCracken, K. J., Beattie, V. E., Bradford, R., Thompson, A., y Gordon, F. J. (2015). An investigation into the effect of dietary particle size and pelleting of diets for finishing pigs. *Livestock Science*. 173, 48-54.
- Bao, Z., Li, Y., Zhang, J., Li, L., Zhang, P., y Huang, F. R. (2016). Effect of particle size of wheat on nutrient digestibility, growth performance, and gut microbiota in growing pigs. *Livestock Science*. 183, 33-39.
- Beccaccia, A., Calvet, S., Cerisuelo, A., Ferrer, P., Garcia-Rebollar, P., y De Blas, C. (2015). Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing-finishing pigs. I. Influence of the inclusion of two levels of orange pulp and carob meal in iso-fibrous diets. *Animal Feed Science and Technology*. 208, 158-169.
- Bindelle, J., Buldgen, A., Delacollette, M., Wavreille, J., Agneessens, R., Destain, J. P., y Le-termé, P. (2009). Influence of source and concentrations of dietary fiber on in vivo nitrogen excretion pathways in pigs as reflected by in vitro fermentation and nitrogen incorporation by fecal bacteria. *Journal of animal science*. 87(2), 583-593.
- Cadogan, D., y Choct, M. (2015). Pattern of non-starch polysaccharide digestion along the gut of the pig: Contribution to available energy. *Animal Nutrition*. 1(3), 160-165.
- Chen, H., Mao, X. B., Che, L. Q., Yu, B., He, J., Yu, J., y Chen, D. W. (2014). Impact of fiber types on gut microbiota, gut environment and gut function in fattening pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 195, 101-111.
- Chen, J. S., Wu, F., Yang, H. S., Li, F. N., Jiang, Q., Liu, S. J., y Li, H. (2017). Growth performance, nitrogen balance, and metabolism of calcium and phosphorus in growing pigs fed diets supplemented with alpha-ketoglutarate. *Animal Feed Science and Technology*. 226, 21-28.

- Cheng, C., Liu, Z., Zhou, Y., Wei, H., Zhang, X., Xia, M., y Peng, J. (2017). Effect of oregano essential oil supplementation to a reduced-protein, amino acid-supplemented diet on meat quality, fatty acid composition, and oxidative stability of Longissimus thoracis muscle in growing-finishing pigs. *Meat science*. 133, 103-109.
- Cho, J. H., Lu, N., y Lindemann, M. D. (2017). Effects of vitamin supplementation on growth performance and carcass characteristics in pigs. *Livestock Science*. 204, 25-32.
- Choct, M. (1997). Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed milling international*. 191(June issue), 13-26.
- Clarke, L. C., Duffy, S. K., Rajauria, G., y O'Doherty, J. V. (2018a). Growth performance, nutrient digestibility and carcass characteristics of finisher pigs offered either a by-product or cereal based diet at two different concentrations of net energy. *Animal Feed Science and Technology*.
- Clarke, L. C., Sweeney, T., Curley, E., Gath, V., Duffy, S. K., Vigors, S., y O'Doherty, J. V. (2018b). Effect of  $\beta$ -glucanase and  $\beta$ -xylanase enzyme supplemented barley diets on nutrient digestibility, growth performance and expression of intestinal nutrient transporter genes in finisher pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 238, 98-110.
- Clarke, L. C., Sweeney, T., Curley, E., Duffy, S. K., Vigors, S., Rajauria, G., y O'Doherty, J. V. (2018c). Mycotoxin binder increases growth performance, nutrient digestibility and digestive health of finisher pigs offered wheat based diets grown under different agronomical conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 240, 52-65.
- Cline, P. M., Tsai, T. C., Stelzleni, A. M., Dove, C. R., y Azain, M. (2016). Interaction of dietary energy and protein on growth performance, carcass characteristics and digestibility in finishing barrows when fed at a constant digestible lysine to metabolizable energy ratio. *Livestock Science*. 184, 1-6.
- Den Hartog, L. A., Huisman, J., Thielen, W. J., Van Schayk, G. A., Boer, H., y Van Weerden, E. J. (1988). The effect of including various structural polysaccharides in pig diets on ileal and faecal digestibility of amino acids and minerals. *Livestock Production Science*. 18(2), 157-170.
- Dersjant-Li, Y., Plumstead, P., Awati, A., y Remus, J. (2018). Productive performance of commercial growing and finishing pigs supplemented with a *Buttiauxella* phytase as a total replacement of inorganic phosphate. *Animal Nutrition*.
- DeVries, J. W. (2004). Dietary fiber: the influence of definition on analysis and regulation. *Journal of AOAC International*. 87(3), 682-706.
- Dierick, N. A., Vervaeke, I. J., Demeyer, D. I., y Decuypere, J. A. (1989). Approach to the energetic importance of fibre digestion in pigs. I. Importance of fermentation in the overall energy supply. *Animal Feed Science and Technology*. 23(1-3), 141-167.
- Dowarah, R., Verma, A. K., Agarwal, N., Patel, B., y Singh, P. (2017). Effect of swine based probiotic on performance, diarrhoea scores, intestinal microbiota and gut health of grower-finisher crossbred pigs. *Livestock Science*. 195, 74-79.
- Duan, H. T., Li, J. G., Xue, M., Yang, J., Dong, Y. C., Liang, K. H., y Qin, Y. (2017). Effects of conditioners (single-layer, double-layer and retention-conditioner) on the growth performance, meat quality and intestinal morphology of growing and finishing pigs. *Journal of Integrative*

Agriculture. 17(4), 919–927.

Eggum, B. O., Thorbek, G., Beames, R. M., Chwalibog, A., y Henckel, S. (1982). Influence of diet and microbial activity in the digestive tract on digestibility, and nitrogen and energy metabolism in rats and pigs. *British Journal of Nutrition*. 48(1), 161-175.

Englyst, K. N., Liu, S., y Englyst, H. N. (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *European journal of clinical nutrition*. 61(S1), S19.

Fadel, J. G., Newman, R. K., Newman, C. W., y Graham, H. (1989). Effects of baking hulless barley on the digestibility of dietary components as measured at the ileum and in the feces in pigs. *The Journal of nutrition*. 119(5), 722-726.

Fan, Y. F., Yang, Y. Y., Yang, P., Xia, T., y Ma, Y. X. (2017). Available energy content, nutrients digestibility of chili meal and effects on performance of growing pigs. *Animal feed science and technology*. 229, 97-105.

Ferreira de Oliveira, B., Kiefer, C., Baptista dos Santos, T. M., de Moraes Garcia, E. R., Alves Marçal, D., Caetano de Abreu, R., y Puhl Rodrigues, G. (2013). Período de suplementação de ractopamina em dietas para suínos machos castrados em terminação. *Ciência Rural*. 43(2), 355-360.

Fracaroli, C., Perondi, D., dos Santos, L. S., da Silva, W. C., Veira, A. M., y Hauschild, L. (2017). Net energy levels of reduced crude protein, amino acid-supplemented diets for heavy pigs. *Livestock Science*. 205, 43-49.

Gao, L., Chen, L., Huang, Q., Meng, L., Zhong, R., Liu, C., y Zhang, H. (2015). Effect of dietary fiber type on intestinal nutrient digestibility and hindgut fermentation of diets fed to finishing pigs. *Livestock Science*. 174, 53-58.

Giannenas, I., Doukas, D., Karamoutsios, A., Tzora, A., Bonos, E., Skoufos, I., y Florou-Paneri, P. (2016). Effects of Enterococcus faecium, mannan oligosaccharide, benzoic acid and their mixture on growth performance, intestinal microbiota, intestinal morphology and blood lymphocyte subpopulations of fattening pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 220, 159-167.

Goodlad, J. S., y Mathers, J. C. (1991). Digestion by pigs of non-starch polysaccharides in wheat and raw peas (*Pisum sativum*) fed in mixed diets. *British Journal of Nutrition*. 65(2), 259-270.

Högberg, A., y Lindberg, J. E. (2004). Influence of cereal non-starch polysaccharides and enzyme supplementation on digestion site and gut environment in weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 116(1-2), 113-128.

Holen, J. P., Rambo, Z., Hilbrands, A. M., y Johnston, L. J. (2018). Effects of dietary zinc source and concentration on performance of growing-finishing pigs reared with reduced floor space. *The Professional Animal Scientist*. 34(2), 133-143.

Howard, M. D., Gordon, D. T., Pace, L. W., Garleb, K. A., y Kerley, M. S. (1995). Effects of dietary supplementation with fructooligosaccharides on colonic microbiota populations and epithelial cell proliferation in neonatal pigs. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*. 21(3), 297-303.

Jaworski, N. W., Laerke, H. N., Bach Knudsen, K. E., y Stein, H. H. (2015). Carbohydrate

composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *Journal of animal science*. 93(3), 1103-1113.

Jha, R., y Berrocoso, J. F. (2016). Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 212, 18-26.

Jin, L., Reynolds, L. P., Redmer, D. A., Caton, J. S., y Crenshaw, J. D. (1994). Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 72(9), 2270-2278.

Jlali, M., Briens, M., Rouffineau, F., Geraert, P. A., y Mercier, Y. (2014). Evaluation of the efficacy of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid on growth performance and tissue selenium retention in growing pigs. *Journal of animal science*. 92(1), 182-188.

Jørgensen, J. N., Laguna, J. S., Millán, C., Casabuena, O., y Gracia, M. I. (2016). Effects of a *Bacillus*-based probiotic and dietary energy content on the performance and nutrient digestibility of wean to finish pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 221, 54-61.

Joven, M., Pintos, E., Latorre, M. A., Suárez-Belloch, J., Guada, J. A., y Fondevila, M. (2014). Effect of replacing barley by increasing levels of olive cake in the diet of finishing pigs: Growth performances, digestibility, carcass, meat and fat quality. *Animal Feed Science and Technology*. 197, 185-193.

Knudsen, K. B., y Hansen, I. (1991). Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions: Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. *British journal of nutrition*. 65(2), 217-232.

Knudsen, K. E. (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal feed science and technology*. 67(4), 319-388.

Lents, C. A., Brown-Brandl, T. M., Rohrer, G. A., Oliver, W. T., y Freking, B. A. (2016). Plasma concentrations of acyl-ghrelin are associated with average daily gain and feeding behavior in grow-finish pigs. *Domestic animal endocrinology*. 55, 107-113.

Lewis, A. J., y Southern, L. L. (2001). *Swine nutrition* (Second edition ed.). Boca Raton, Florida: CRC press.

Li, S., Wang, H., Wang, X., Wang, Y., y Feng, J. (2017). Betaine affects muscle lipid metabolism via regulating the fatty acid uptake and oxidation in finishing pig. *Journal of animal science and biotechnology*. 8(1), 72.

Liu, J. B., Xue, P. C., Cao, S. C., Liu, J., Chen, L., y Zhang, H. F. (2018). Effects of dietary phosphorus concentration and body weight on postileal phosphorus digestion in pigs. *Animal Feed Science and Technology*.

Long, C., Zhou, X., Wang, Q., Xie, C., Li, F., Fan, Z., y Yin , Y. (2016). Dietary supplementation of *Lonicera macranthoides* leaf powder improves amino acid profiles in serum and longissimus thoracis muscle of growing-finishing pigs. *Animal Nutrition*. 2(4), 271-275.

Low, A. G. (1989). Secretory response of the pig gut to non-starch polysaccharides. *Animal Feed Science and Technology*. 23(1-3), 55-65.

Lowell, J. E., Bohrer, B. M., Wilson, K. B., Overholt, M. F., Harsh, B. N., Stein, H. H., y Boler, D. D. (2018). Growth performance, carcass quality, fresh belly characteristics, and commercial bacon slicing yields of growing-finishing pigs fed a subtherapeutic dose of an antibiotic, a natural antimicrobial, or not fed an antibiotic or antimicrobial. *Meat science*. 136, 93-103.

Lyu, Z. Q., Huang, C. F., Li, Y. K., Li, P. L., Liu, H., Chen, Y. F., y Lai, C. H. (2018). Adaptation duration for net energy determination of high fiber diets in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 241, 15-26.

Martínez-Ramírez, H. R., Kramer J., K. G., y de Lange C., F. M. (2014). Retention of n-3 polyunsaturated fatty acids in trimmed loin and belly is independent of timing of feeding ground flaxseed to growing-finishing female pigs. *Journal of animal science*. 92(1), 238-249.

Meng, Q., Sun, S., Sun, Y., Li, J., Wu, D., Shan, A., y Cheng, B. (2018). Effects of dietary lecithin and l-carnitine on fatty acid composition and lipid-metabolic genes expression in subcutaneous fat and longissimus thoracis of growing-finishing pigs. *Meat science*. 136, 68-78.

Monteiro, A. T., Bertol, T. M., De Oliveira, P. A., Dourmad, J. Y., Coldebella, A., y Kessler, A. M. (2017). The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. *Livestock Science*. 198, 162-169.

Moore, R. J., Kornegay, E. T., y Lindemann, M. D. (1986). Effect of salinomycin on nutrient absorption and retention by growing pigs fed corn-soybean meal diets with or without oat hulls or wheat bran. *Canadian Journal of Animal Science*. 66(1), 257-265.

Morazán, H., Alvarez-Rodriguez, J., Seradj, A. R., Balcells, J., y Babot, D. (2015). Trade-offs among growth performance, nutrient digestion and carcass traits when feeding low protein and/or high neutral-detergent fiber diets to growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 207, 168-180.

National Research Council. (2012). Nutrient requirements of swine. Washington, DC: National Academies Press.

Ndou, S. P., Kiarie, E., Walsh, M. C., y Nyachoti, C. M. (2018). Nutritive value of flaxseed meal fed to growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 238, 123-129.

Nemechek, J. E., Tokach, M. D., Dritz, S. S., Fruge, E. D., Hansen, E. L., Goodband, R. D., y Woodworth, J. C. (2015). Effects of diet form and feeder adjustment on growth performance of nursery and finishing pigs. *Journal of animal science*. 93(8), 4172-4180.

Noblet, J., y Perez, J. M. (1993). Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *Journal of animal science*. 71(12), 3389-3398.

O'Shea, C. J., Mc Alpine, P. O., Solan, P., Curran, T., Varley, P. F., Walsh, A. M., y Doherty, J. V. (2014). The effect of protease and xylanase enzymes on growth performance, nutrient digestibility, and manure odour in grower-finisher pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 189, 88-97.

Paulk, C. B., y Hancock, J. D. (2016). Effects of an abrupt change between diet form on growth performance of finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 211, 132-136.

Paulk, C. B., Hancock, J. D., Fahrenholz, A. C., Wilson, J. M., Mckinny, L. J., y Behnke, K. C.

(2015). Effects of sorghum particle size on milling characteristics and growth performance in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 202, 75-80.

Pieper, R., Taciak, M., Pieper, L., Świech, E., Tuśnio, A., Barszcz, M., y Zentek, J. (2016). Comparison of the nutritional value of diets containing differentially processed blue sweet lupin seeds or soybean meal for growing pigs. *Animal Feed Science*. 221, 79-86.

Pond, W. G., Pond, K. R., Ellis, W. C., y Matis, J. H. (1986). Markers for Estimating Digesta Flow in Pigs and the Effects of Dietary Fiber 1. *Journal of animal science*. 63(4), 1140-1149.

Rojas, O. J., Vinyeta, E., y Stein, H. H. (2016). Effects of pelleting, extrusion, or extrusion and pelleting on energy and nutrient digestibility in diets containing different levels of fiber and fed to growing pigs. *Journal of animal science*. 94(5), 1951-1960.

Rosa, R. A., Kiefer, C., de Souza, K. M., Marçal, D. A., Caramori Júnior, J. G., de Abreu, R. C., y Lino, K. A. (2015). Ractopamina em dietas com ajustes nutricionais para suínos machos castrados em terminação sob clima quente. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 10(1), 159-164.

Schinckel, A. P., Steyn, W., Allen, E. C., Garbossa, C. A., Eggert, J. M., y Richert, B. T. (2015). Effect of 2 net energy feeding programs in combination with ractopamine on grow-finish pig growth performance and carcass characteristics. *The Professional Animal Scientist*. 31(6), 504-515.

Schulze, H., Van Leeuwen, P., Verstegen, M. A., Huisman, J., Souffrant, W. B., y Ahrens, F. (1994). Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. *Journal of Animal Science*. 72(9), 2362-2368.

Smit, M. N., Seneviratne, R. W., Young, M. G., Lanz, G., Zijlstra, R. T., y Beltranena, E. (2014). Feeding increasing inclusions of canola meal with distillers dried grains and solubles to growing-finishing barrows and gilts. *Animal Feed Science and Technology*. 189, 107-116.

Stanogias, G., y Pearset, G. R. (1985). The digestion of fibre by pigs: 1. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. *British journal of Nutrition*. 53(3), 513-530.

Taverner, M. R., Hume, I. D., y Farell, D. J. (1981). A vailability to pigs of amino acids in cereal grains: 1. Endogenous levels of amino acids in ileal digesta and faeces of pigs given cereal diets. *British Journal of Nutrition*. 46(1), 149-158.

Tous, N., Lizardo, R., Theil, P. K., Vilà, B., Gispert, M., Font-i-Furnols, M., y Esteve-Garcia, E. (2014a). Effect of vitamin A depletion on fat deposition in finishing pigs, intramuscular fat content and gene expression in the longissimus muscle. *Livestock Science*. 167, 392-399.

Tous, N., Lizardo, R., Vila, B., Gispert, M., Font-i-Furnols, M., y Esteve-Garcia, E. (2014b). Effect of reducing dietary protein and lysine on growth performance, carcass characteristics, intramuscular fat, and fatty acid profile of finishing barrows. *Journal of animal science*. 92(1), 129-140.

Upadhyaya, S. D., Yun, H. M., y Kim, I. H. (2016). Influence of low or high density corn and soybean meal-based diets and protease supplementation on growth performance, apparent digestibility, blood characteristics and noxious gas emission of finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 216, 281-287.

Veum, T. L., y Liu, J. (2018). The effect of microbial phytase supplementation of sorghum-ca-

nola meal diets with no added inorganic phosphorus on growth performance, apparent total-tract phosphorus, calcium, nitrogen and energy utilization, bone measurements, and serum variables of . *Livestock Science*.

Wang, L. F., Beltranena, E., y Zijlstra, R. T. (2017). Nutrient digestibility of chickpea in ileal-cannulated finisher pigs and diet nutrient digestibility and growth performance in weaned pigs fed chickpea-based diets. *Animal Feed Science and Technology*. 234, 205-216.

White, G. A., Smith, L. A., Houdijk, J. G., Homer, D., Kyriazakis, I., y Wiseman, J. (2015). Replacement of soya bean meal with peas and faba beans in growing/finishing pig diets: Effect on performance, carcass composition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*. 209, 202-210.

Woyengo, T. A., Jha, R., Beltranena, E., Pharazyn, A., y Zijlstra, R. T. (2014). Nutrient digestibility of lentil and regular-and low-oligosaccharide, micronized full-fat soybean fed to grower pigs. *Journal of animal science*. 92(1), 229-237.

Wu, F., Johnston, L. J., Urriola, P. E., Hilbrands, A. M., y Shurson, G. C. (2016a). Evaluation of ME predictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles with variable oil content on growth performance, carcass composition, and pork fat quality of growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 213, 128-141.

Wu, F., Johnston, L. J., Urriola, P. E., Hilbrands, A. M., y Shurson, G. C. (2016b). Evaluation of NE predictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles (DDGS) with variable NE content on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 215, 105-116.

Xu, X., Liu, L., Long, S. F., Piao, X. S., Ward, T. L., y Ji, F. (2017). Effects of chromium methionine supplementation with different sources of zinc on growth performance, carcass traits, meat quality, serum metabolites, endocrine parameters, and the antioxidant status in growing-finishing pigs. *Biological trace element research*. 179(1), 70-78.

Zanfi, C., Colombini, S., Mason, F., Galassi, G., Rapetti, L., Malagutti, L., y Spanghero, M. (2014). Digestibility and metabolic utilization of diets containing whole-ear corn silage and their effects on growth and slaughter traits of heavy pigs. *Journal of animal science*. 92(1), 211-219.

Zebrowska, T., y Low, A. G. (1987). The influence of diets based on whole wheat, wheat flour and wheat bran on exocrine pancreatic secretion in pigs. *The Journal of nutrition*. 117(7), 1212-1216.

Zhao, J. B., Liu, P., Huang, C. F., Liu, L., Li, E. K., Zhang, G., y Zhang, S. (2018). Effect of wheat bran on apparent total tract digestibility, growth performance, fecal microbiota and their metabolites in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 239, 14-26.

Zhu, J. Q., Fowler, V. R., y Fuller, M. F. (1993). Assessment of fermentation in growing pigs given unmolassed sugar-beet pulp: a stoichiometric approach. *British Journal of Nutrition*. 69(2), 511-525.

Zou, Y., Xiang, Q., Wang, J., Wei, H., y Peng, J. (2016). Effects of oregano essential oil or quercetin supplementation on body weight loss, carcass characteristics, meat quality and antioxidant status in finishing pigs under transport stress. *Livestock Science*. 192, 33-38.